



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL
CURSO DE AGRONOMIA

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA DO SOLO EM ÁREA
NATIVA E DE EXPLORAÇÃO AGROPECUÁRIA UTILIZANDO
PENETRÔMETRO ELETRÔNICO**

ICARO SAMPAIO DE FREITAS

AREIA-PB
MARÇO-2015

ICARO SAMPAIO DE FREITAS

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA DO SOLO EM ÁREA
NATIVA E DE USO AGROPECUÁRIO UTILIZANDO PENETRÔMETRO
ELETRÔNICO**

Trabalho apresentado à coordenação do curso de graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, em observância às exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Javier de Léon

**AREIA-PB
MARÇO-2015**

ICARO SAMPAIO DE FREITAS

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO
SOLO DE ÁREA NATIVA E DE USO AGROPECUÁRIO UTILIZANDO
PENETRÔMETRO ELETRÔNICO**

APROVADA EM ____ de ____, 2015

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Maurício Javier de León
DSER/CCA/UFPB
-Orientador-

Prof. Msc. Francisco de Assis Pereira Ramos
DSER/CCA/UFPB
Examinador

Doutoranda Daniely Sales Guedes
PPGZ/CCA/UFPB
Examinadora

EPÍGRAFE

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

Dedico

Aos meus pais José Lourinaldo Chaves e Goretti Maria Sampaio de Freitas, pelos exemplos de honestidade e respeito.

AGRADECIMENTOS

À Deus por guiar meu passos e por iluminar minha vida.

À meus pais José Lourinaldo e Goretti Maria que acreditaram e me apoiaram sempre, me dando motivação e coragem nos desafios encontrados.

À minha irmã Talita e minha amada sobrinha Maria Luiza por fazerem parte de minha vida.

À meu orientador Maurício Javier de León, pela enorme contribuição profissional e pessoal, e o exemplo de profissional.

À meus amigos que contribuíram para a realização do trabalho: Gilmar Nunes, José Ronaldo, Tayron, Jardel, Digo, Marcel e Carlosman.

À todas as outras pessoas, amigos e professores que colaboraram de alguma forma na realização deste sonho que é se tornar um Engenheiro Agrônomo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1. Brejo Paraibano	3
3.2. Exploração, usos e manejos dos solos.....	3
3.3. Mata Nativa	4
3.4. Produção Agropecuária	4
3.5. Compactação do solo	4
3.6. Textura do solo.....	5
3.7. Resistência mecânica do solo à penetração.....	6
3.8. Agricultura de precisão	7
3.9. Penetrometria.....	8
3.10. Geoestatística.....	9
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
4.1. Caracterização da área de estudo e localização	10
4.2. Coleta das amostras de solo	10
4.3. Amostragem da área (Resistência mecânica à penetração do solo)	10
4.4. Penetrômetro eletrônico	13
4.5. Análise estatística	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
6. CONCLUSÕES	22
7. REFERÊNCIAS	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas Latossolo Amarelo, Fazenda Experimental Chã de Jardim, CCA/UFPB, Areia-PB	10
Tabela 2. Resistência à penetração do solo de duas áreas em diferentes profundidades	15
Tabela 3. Pressão exercida no solo de duas áreas; com pastagem e mata nativa. Areia-PB.	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Utilização do pentrometro digital na coleta de dados em uma área agrícola. Chã do Jardim, Areia-PB.	11
Figura 2. Esquema de amostragem dos pontos na área experimental pastagem. Modelo utilizado para as demais áreas experimentais.	11
Figura 3. Esquema de amostragem dos pontos na área experimental de mata nativa... ..	12
Figura 4. Esquema de todas as áreas estudadas.....	12
Figura 5. Penetrômetro eletrônico PLG 1020.....	13
Figura 6. Análise comparativa da resistência do solo de uma área agrícola com uma área de mata nativa em diferentes profundidades, utilizando penetrômetro eletrônico. Areia, PB.	16
Figura 7. Pressão exercida e resistência mecânica a penetração no perfil do solo até 40 cm de área agrícola e nativa em Areia, PB.....	17
Figura 8. Análise comparativa da resistência do solo de uma área de pastagem com uma área de mata nativa em diferentes profundidades, utilizando penetrômetro eletrônico. Areia, PB.	18
Figura 9. Resistência mecânica a pressão (kPa) no perfil do solo até 40 cm de área com pastagem e de mata nativa, em Areia-PB.	20

SILVA, I. S. Avaliação comparativa da resistência à penetração do solo em área nativa e de uso agropecuário utilizando penetrômetro eletrônico. Graduação em Agronomia. Areia, PB, 2014. Orientador: Maurício Javier de Léon (Monografia, 40p.)

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a resistência mecânica à penetração do solo em áreas com exploração agropecuária comparando-as com uma área de mata nativa sem influências de atividades exploratórias no município de Areia-PB, a partir de um penetrômetro eletrônico digital Falker® Pentrolog PLG 1020, onde apresenta um tipo de solo caracterizado como um Latossolo Vermelho Amarelo. O perímetro da área foi obtido através de GPS de navegação modelo Garmin GPS *map60 CSxcom datum*WGS84 e sistema de coordenadas UTM. Com este penetrômetro, estudos buscaram conferir o grau de mecanização utilizado em área agrícola e sob pastagem comparando com área de mata nativa livre de manejo mecanizado em diferentes profundidades. Na avaliação desta área ao longo do perfil do solo foi analisada a resistência deste solo numa profundidade de 40 cm, levando em consideração camadas ao longo do seu perfil (P1 = 0 – 10 cm; P2 = 10 – 20 cm; P3 = 20 – 30 cm; e P4 = 30 – 40 cm). Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade e verificou-se que não houve interação significativa no fator Local,

Palavras-chave: Agricultura de precisão, compactação, mapeamento do solo, penetrômetro.

SILVA, I. S .Comparative evaluation of the soil penetration resistance in native area and in agriculture and animal exploration using eletronicpenetrometer. Graduation in Agronomy.Areia, PB, 2014.Advisor: Maurício Javier de Léon (Monograph, 40p.)

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the mechanical resistance to penetration of the soil in areas with agricultural exploration comparing them with an area of forest without influences of exploratory activities in the municipality of Areia-PB, from an digital electronic penetrometer Falker ® PentrologPLG 5200, where presents a soil characterized as a Red Yellow Oxisol. With this penetrometer, studies sought check the degree of mechanization used in agricultural area and under compared to pasture area of native forest of mechanized free handling at different depths. In the evaluating this area along the soil profile was analyzed the resistance of the soil at a depth of 40 cm, taking into account layers along its profile (P1 = 0 – 10 cm; P2 = 10-20 cm; P3 = 20-30 cm; and P4 = 30-40 cm). The perimeter of the area was obtained through GPS navigation Garmin GPS map60 CSx with datum WGS84 and UTM coordinate system. The data were submitted to Tukey test at 5% probability and there was found no significant interaction in the local factor.

Keywords: Precision agriculture, compaction, soil mapping, penetrometer.

1. INTRODUÇÃO

A compactação é um indicador importante na perda da capacidade produtiva dos solos, devido ao aumento da resistência à penetração de raízes, redução da porosidade, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água. O manejo inadequado dos solos é um dos principais causadores da degradação nos mais diferentes biomas, influenciando diretamente suas características físicas. Em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, a passagem de animais de grande porte é um dos causadores da compactação, assim como a mudança da vegetação natural para sistema de exploração agrícola (LAGO et al., 2012).

Pignataro Netto et. al. (2009) comentam que a qualidade do solo é expressa quando este funciona dentro dos limites de um ecossistema natural, de modo a sustentar a produção biológica, promover a saúde dos animais e das plantas, e manter a qualidade do meio ambiente. Neste contexto quando o solo não saturado é submetido à pressão, diminui de volume com consequente aumento de densidade, resultando na compactação (GUPTA & ALLMARAS, 1987).

As distintas características do solo geralmente são determinadas por um conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos, que representam e que influenciam suas diversas funções. Ramos et. al. (2010) comenta que a compactação do solo pode ser ocasionada pelo excessivo pisoteio animal em áreas de exploração agropecuária e em áreas de produção agrícola está associado ao excessivo uso da mecanização para o sistema convencional de preparo do terreno, o que resulta nos chamados “pés-de-arado”. Isso pode promover alterações em indicadores físicos, tais como, modificação da estrutura e da densidade; da macroporosidade total e do tamanho e continuidade dos poros; do armazenamento e da capacidade de infiltração da água no solo, resultando em aumento do escoamento superficial com perda de matéria orgânica e menor resistência à penetração.

A resistência mecânica à penetração é encontrada em solos que estão em processo de degradação e, o efeito dessa condição causa um impedimento ao crescimento do sistema radicular das plantas devido à restrição de água, nutrientes, ar e espaço para sua expansão (PIGNATARO NETTO, 2008). Para o diagnóstico de camadas compactadas é utilizado o penetrômetro, que estima, através da resistência mecânica a penetração, fator determinante do estado físico em que se encontra o solo (SANTANA et al., 2014).

2. OBJETIVOS

- Avaliar a resistência mecânica à penetração do solo em áreas com exploração agropecuária comparando-as com área sem influências de atividades exploratórias no município de Areia-PB a partir de um penetrômetro eletrônico.
- Determinar dentre as áreas qual apresenta maior resistência mecânica do solo à penetração ao longo do perfil de 40 cm.
- Verificar quais camadas sofreram maior influência do tipo de manejo empregado.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Brejo Paraibano

A microrregião do Brejo Paraibano apresenta relevo ondulado a fortemente ondulado, com áreas de vegetação nativa de florestas subperenifólia, a qual vegetação foi substituída em grande parte por cana-de-açúcar (BRASIL, 1972), mas com o declínio do sistema sucroalcooleiro, no início da década de 1990, começou a introdução das pastagens. Nos últimos anos, com o intuito de produzir estacas e mourões para cercas, foi introduzido o cultivo de sabiá em áreas de pastagens.

Em razão da elevada declividade, modificações no uso podem favorecer a erosão e degradação do solo, bem como a compactação. Para entender essa degradação no brejo paraibano, o estudo das propriedades físicas e químicas em áreas de mata, exploração agrícola e pasto precisam ser efetuados (SANTOS et al., 2010).

Os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados, utilizando diferentes propriedades físicas relacionadas, entre elas, a resistência do solo à penetração das raízes (BEUTLER et al., 2001).

3.2. Exploração, usos e manejos dos solos

Os diferentes usos e manejos do solo podem ocasionar a degradação das propriedades físicas de um solo, principalmente quando este uso substitui uma área em que antes era ocupada por mata. Os solos sob área nativa possuem propriedades físicas do solo adequadas, contudo, a partir do momento em que estes solos são utilizados para exploração agrícola, de forma intensiva e com práticas inadequadas, ocorrem alterações nas suas propriedades originais (CAVENAGE et al. 1999).

Altos valores de resistência do solo à penetração são indicativos de maior densidade do solo e consequentemente menor porosidade, o que pode resultar em menor capacidade de infiltração da água, menor taxa de armazenamento de água e maior escoamento superficial (FERREIRA et al., 2009). Em áreas alteradas, perturbadas ou degradadas, com densidade elevada no solo pode acarretar avanços nos processos erosivos, como comumente acontece em áreas de exploração agropecuária onde o manejo não é adequado.

3.3.Mata Nativa

Áreas de mata nativa podem apresentar o solo mantido em seu estado natural, apresentando características físicas, como densidade, porosidade, agregação e permeabilidade consideradas adequadas (ANDREOLA et al., 2000), Além disso, podem sofrer alterações quando submetido ao processo produtivo (NEVES et al., 2007) e resistência a penetração, como observado por Iori et al. (2012) em áreas cultivadas com banana, verificando-se que, mesmo não havendo o tráfego de máquinas, as práticas culturais realizadas provavelmente alteraram a resistência do solo a penetração, resultando em uma alteração na capacidade de suporte de carga em relação à mata nativa e demais usos do solo.

3.4. Produção Agropecuária

Áreas com exploração animal e produção de pastagens também podem influenciar na resistência do solo a penetração. De acordo com Gaggero (1998), dois aspectos requerem atenção no manejo animal sobre pastagens: a pressão de pastejo e a movimentação dos animais. Estes mesmos autores estimam a carga estática exercida pelos bovinos como variável entre 112 e 165 kPa, durante a movimentação do gado a mesma se multiplica, sendo consideravelmente maior. O grau de compactação causado pelo pisoteio bovino é influenciado pela textura e umidade do solo, sistema de pastejo e altura de manejo da pastagem (LEÃO et al., 2004). Dentro de muitos fatores correlacionados a compactação de solo a presença de máquinas segundo Waggoner&Denton, (1989) é uma das principais causas da degradação em áreas cultivadas é a compactação do solo causada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas além do pisoteio animal em áreas de integração lavoura-pecuária.

3.5. Compactação do solo

A compactação do solo pode ser definida como sendo a alteração na estrutura física do solo de modo a reduzir os espaços internos que normalmente são ocupados por água e ar. Em decorrência disso, a disponibilidade desses elementos no solo torna-se reduzida, dificultando, assim, o bom desenvolvimento das culturas (ASSIS et al., 2009).

Os principais fatores que influenciam no processo de compactação do solo são tipo de material, a natureza do esforço de compactação, a energia de compactação

aplicada, o teor de água e a espessura da camada a ser compactada. Essa alteração afeta as condições do solo, influenciando a maneira de preparação de terrenos, como os tratos culturais e a colheita, a germinação de sementes e o subsequente crescimento e desenvolvimento das plantas. As condições do solo mais seriamente afetadas são aquelas que controlam o teor e transmissão da água, ar, calor e nutrientes, e que modificam a resistência do solo, pela alteração da distribuição dos tamanhos dos poros (SILVA et al., 2005; MARCHÃO et al., 2007).

Um dos problemas da compactação do solo à produção agrícola se relaciona ao fato desta reduzir a infiltração, aumenta o escoamento superficial de água no solo, dificulta o crescimento do sistema radicular das plantas e reduz a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, o rendimento das culturas (LUCIANO et al., 2012).

Um monitoramento da qualidade do solo é fundamental para adoção de um manejo adequado, de acordo com Santana & Bahia Filho (1998), a avaliação dessa qualidade pode ser realizada pelo monitoramento de seus atributos ou características físicas, químicas e biológicas. Entre estes, um dos que são recomendados é a compactação.

A penetrometria se caracteriza como uma técnica que auxilia a avaliação da compactação do solo, para isso pode ser utilizado um penetrômetro de impacto que permite aferir a profundidade em que se encontram camadas naturalmente adensadas ou compactadas devido ao manejo inadequado do solo (CARVALHO et al., 2012).

3.6.Textura do solo

O solo é caracterizado por ser uma unidade constituída de partículas promovidas por intemperismo em variados tipos de rochas, onde resulta em diversos e variáveis tamanhos como: calhaus (20 - 200 mm de diâmetro), cascalhos (2,0 - 20 mm de diâmetro), areia (2,0 - 0,05 mm de diâmetro), silte (0,05 - 0,002 mm de diâmetro), matações (>200 mm de diâmetro) e argila (< 0,002 mm de diâmetro). Com relação à textura do solo, estase refere às diversas proporções de partículas de distintas dimensões existentes no solo que contém 2,0 mm de diâmetro, pelas quais estão caracterizadas pelas classes texturais convencionais, que procuram definir diferentes combinações de argila, silte e areia. Esta se representa como sendo um dos atributos físicos mais estáveis e concebe a distribuição quantitativa das partículas do solo quanto ao tamanho, tendo em vista que o campo de avaliação é efetuado pela sensibilidade ao tato, valendo salientar que a determinação da granulométrica é feita em laboratório. A textura do solo

deve ser uma variável a ser considerada no processo de compactação. Poros maiores geralmente são ocupados por ar, e poros menores por água (ENCIDE, 2005).

Os solos cuja constituição apresenta partículas do mesmo tamanho são menos susceptíveis ao processo de compactação, comparados aos solos onde há mistura uniforme de argila, silte e areia. Isto se deve ao fato de que as partículas de tamanho diferentes se arranjam e preenchem os poros, quando submetidos a uma pressão no solo determinando o atrito entre as partículas e o tipo de ligação entre elas. Em geral, quanto maiores as partículas do solo, menor sua compressibilidade e agregação (MACEDO et al., 2010).

O solo pode estar naturalmente adensado ou pode sofrer compactação devido a ação antrópica, com o uso de máquinas e implementos em solos de umidade próxima ao limite de plasticidade, sendo este o principal fator que compacta os solos agrícolas, pois a água reduz a coesão e atua como lubrificante entre as partículas de solo, permitindo o deslizamento e o empacotamento das partículas quando este é submetido a algum tipo de pressão (LUCIANO et al. 2012), o que pode facilitar as características de textura do solo.

3.7.Resistência mecânica do solo à penetração

O uso intensivo de terras agricultáveis para a produção de alimentos e bioenergia tem causado aceleração do processo de degradação do solo. Este é um problema mundial que tem aumentado devido ao crescente uso das máquinas agrícolas e frequência do tráfego dessas máquinas, em função dos períodos de plantio cada vez menores em detrimento das condições climáticas ou cumprimento de contratos agrícolas por parte dos produtores. A adoção de agricultura intensiva, com uso de máquinas e implementos agrícolas tem gerado um elevado incremento de peso e potência nas máquinas a fim de aumentar a eficiência nas operações, o que pode contribuir para a compactação do solo (RALISCH et al., 2008).

O tráfego intensivo de máquinas é o principal responsável pelo aumento da densidade e resistência do solo à penetração (RESENDE SILVA et al., 2011), diminuição da macroporosidade e condutividade hidráulica (SUZUKI et al., 2007), resultando na compactação do solo e alterando o meio onde o sistema radicular desenvolve-se (MARCHÃO et al., 2007). A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas que expressa o grau de compactação, e consequentemente a facilidade com que as raízes penetram no solo (FUENTES et al., 2006).

A avaliação da compactação do solo é baseada na condição atual em que se encontra o solo, sendo possível identificar as camadas que apresentam restrições a fenômenos de superfície, crescimento e produtividade das culturas (SILVA et al., 2004). Uma das propriedades físicas importantes para o manejo e estudo da qualidade física dos solos é sua resistência à penetração, uma vez que essa propriedade apresenta-se relacionada com diversos atributos do solo, indicadores do grau de compactação (RIBON & TAVARES FILHO, 2008). A qualidade do solo é função de alguns atributos que promovem o bom desenvolvimento das raízes, tais como: infiltração e movimento de água no perfil, trocas gasosas, atividade biológica e mineralização de carbono.

A resistência mecânica do solo à penetração é uma propriedade física relativamente fácil de ser obtida e, de certa forma, de ser correlacionada com a densidade. Para um mesmo solo, quanto maior for a densidade do solo, maior será a resistência à penetração e menor será a macroporosidade, que é o principal espaço para o crescimento das raízes. Deve ser levado em conta, no entanto, que a resistência do solo é mais afetada pela variação nos conteúdos de umidade do solo no momento da amostragem do que pela densidade do solo (TORRES & SARAIVA, 1999).

A avaliação da resistência do solo à penetração permite inferir sobre a maior ou menor facilidade de penetração das raízes (SILVEIRA et al., 2010), servindo como indicador dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o ambiente radicular (TORMENA & ROLOFF, 1996).

3.8. Agricultura de precisão

A crescente globalização da economia e o aumento constante de competitividade nas atividades agropecuárias vêm obrigando o setor agrícola a buscar um melhor controle de informações dentro das áreas cultivadas, uma maior eficiência na utilização de insumos e, principalmente, dos recursos naturais como a água e o solo. Dessa maneira segundo Johann (2004), a agricultura brasileira precisa apresentar, assim, o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a competição de seus produtos no mercado mundial, através da ampliação da produtividade, o que é normalmente obtido pelo aumento do uso dos insumos agrícolas, no entanto, o que se tem observado é a falta de conhecimentos adequados, assim como de tecnologias inadequadas têm contribuído para a perda de competitividade econômica do setor agrícola e para a degradação ambiental.

Diante da crescente necessidade em diminuir os custos e aumentar a produtividade das lavouras nas propriedades rurais, está sendo levado em conta os altos preços dos combustíveis, a diminuição de terras produtivas e a preservação do meio ambiente, o que tem direcionado as pesquisas científicas ao desenvolvimento de novas tecnologias e formas de gerenciamento das propriedades rurais. A agricultura de precisão baseia-se no gerenciamento localizado de sistemas agrícolas, utilizando recursos como mapeamento dos fatores de produção, ferramentas de suporte à decisão e aplicação localizada de insumos (EMBRAPA, 2014). Em termos econômicos, a utilização desta tecnologia possibilita a priorização de investimentos em áreas onde o potencial de produção seja mais efetivo, garantindo maior retorno econômico e, do ponto de vista ambiental, a racionalização e a redução do uso de insumos devem ser avaliadas como um dos principais benefícios da agricultura de precisão.

Na utilização da tecnologia, está diretamente relacionada com a variabilidade espacial e temporal de diversas variáveis do solo (composição química e composição física), das plantas (cultivar, densidade de plantio, nutrientes absorvidos, ataque de ervas, fungos, insetos), do clima (temperatura, umidade, luminosidade, vento), externos (invasão de animais), e gerenciamento de operações que influenciam na produtividade de uma cultura (LIMA, 2013).

A Agricultura de Precisão é fundamentada num novo conceito de gerenciamento agrícola, modificando antigas técnicas, introduzindo novos instrumentos e ferramentas e depende de um número expressivo de informações, principalmente a respeito do clima, das propriedades rurais e das características dos solos, bem como da ocorrência de ervas daninhas, pragas e doenças, uma vez que cada informação deve representar a menor área possível (BIANCHINI et al., 2001). De acordo com Lamparelli (2001), envolve o uso das chamadas geotecnologias como sistemas de posicionamento global (GPS – Global Positioning System), sistemas informatizados de coleta de dados, sensores remotos locais, orbitais e não orbitais, *softwares* para tratamento e mapeamento destes dados (Sistema de Informações Georeferenciadas – SIG) e sistemas eletrônicos de acionamento, controle e automação de máquinas agrícolas.

3.9. Penetrometria

Dentre as informações para uso racional de áreas agrícolas e para diagnosticar à compactação, o método indireto adotado é o Índice de Cone (IC), que mede a resistência que o solo exerce em relação à penetração de uma ponta cônica. Para exercer esta

penetração são utilizados equipamentos denominados penetrômetros (MOLIN et al., 2012).

Existem no mercado vários tipos e modelos, desde os mais simples, como o penetrômetro de impacto, muito utilizado no Brasil, que mensuram IC através de cálculos indiretos (BEUTLERET al., 2007); os penetrógrafos mecânicos (CARTER, 1967), os penetrômetros mecânicos com manômetro até os mais práticos que coletam e armazenam dados, como os penetrômetros eletrônicos (MOLIN et al., 2012) operados manual ou hidraulicamente. Roboredo et al. (2010) observaram diferença entre um penetrômetro de impacto e um penetrômetro eletrônico, onde os valores do penetrômetro eletrônico automático resultaram em correlação positiva moderada ($r = 0,42$).

De acordo com Perumpral (1987) os penetrômetros foram sendo empregados em grande escala no meio agrícola, para diversas aplicações, por serem de utilização fácil, rápida e barata, com fácil interpretação dos resultados, principalmente para a determinação da resistência do solo à penetração de raízes e detecção de camadas de solo compactadas. Um dos exemplos de penetrômetro eletrônico utilizado para a medição da resistência a penetração de solos é o penetrômetro digital FALKER, modelo penetroLOG – PLG 1020, o qual apresenta aptidão eletrônica para aquisição de dados (LIMA et al., 2013).

O penetroLOG é um Medidor Eletrônico de Compactação do Solo que visa saber quais áreas do campo, tanto no plantio direto quanto no plantio convencional, ou até mesmo em áreas inexploradas, estão excessivamente compactadas e dificultam o crescimento e desenvolvimento das plantas, causando queda da produtividade.

3.10. Geoestatística

O conceito de geoestatística surgiu com os trabalhos de Krige (1951) com dados de concentração de ouro nos quais concluiu que apenas a informação fornecida pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo, sendo assim, a geoestatística é um conjunto de métodos estatísticos apropriados para analisar um atributo de um fenômeno que tem distribuição contínua sobre uma área geográfica. É preciso considerar a distância entre as observações, sendo assim, a geoestatística leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial (CAMARGO et al., 2004; LEAL et al., 2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo e localização

O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental Chã de Jardim do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, localizada no município de Areia-PB, o qual integra a Microrregião Geográfica Brejo Paraibano, numa altitude variável entre 400 e 600 m, coordenadas geográficas de 006° 58.1574' S 035° 44.0593' W, com área estimada em 3 hectares. O solo é caracterizado como sendo um Latossolo Vermelho Amarelo. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é As' (Clima tropical quente e úmido, com chuvas no período outono-inverno e precipitações médias anuais oscilando de 1200 a 1400 mm, concentradas nos meses de março a agosto. A temperatura média anual varia de 22 a 26°C e a umidade relativa de 75% (BRASIL, 1972).

4.2. Coleta das amostras de solo

As amostras de solo coletadas foram selecionadas ao acaso em pontos aleatórios apresentando 30 amostras. Estas foram transportadas ao Laboratório de Física do Solo do CCA/UFPB onde a textura (Tabela 1) foi determinada pelo método do hidrômetro de Bouyoucus (1951), modificado por Day (1965), utilizando 20 mL de NaOH 1,0 N como dispersante para 40 g de terra fina seca ao ar. A determinação do silte e da argila foi realizada através de leituras com o hidrômetro em função do tempo de sedimentação, enquanto a distribuição granulométrica da fração areia (2,00 - 0,053 mm de diâmetro) foi obtida por tamizagem.

Tabela 1. Características físicas Latossolo Amarelo, com textura argilo-arenoso, Fazenda Experimental Chã de Jardim, CCA/UFPB, Areia-PB

Profundidade (cm)	Areia	Silte	Argila
	----- g kg -----		
0 -40	519,0	82,0	399,0

4.3. Amostragem da área (Resistência mecânica à penetração do solo)

Inicialmente foi obtido o perímetro das áreas através de GPS de navegação modelo Garmin GPS *map60 CSx* com *datum*WGS84 e sistema de coordenadas UTM.

Após a obtenção deste perímetro, esses dados foram transferidos ao *software* MapSource® em seguida ao *software* Penetrolog® e deste ao FalkerMap® 7000 para confecção da grade regular da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) para alocar 35 pontos georreferenciados, espaçados a cada 20 m nas áreas agropecuárias (Agrícola e Pastagem) formando uma grade regular de 20 x 20 metros. Na área de mata nativa foram espaçadas a cada 10 m formando outra grade de 10 x10 metros, com uma área aproximada de 3.000 m².



Figura 1. Utilização do pentrômetro digital na coleta de dados em uma área agrícola. Chã do Jardim, Areia-PB.



Figura 2. Esquema de amostragem dos pontos na área experimental pastagem. Modelo utilizado para as demais áreas experimentais.



Figura 3.Esquema de amostragem dos pontos na área experimental de mata nativa.



Figura 4. Esquema de todas as áreas estudadas

Foi avaliada nessa pesquisa a resistência a penetração do solo, observando-se a pressão (kPa) em três áreas com exploração e sem exploração agropecuária, sendo área agrícola (A), a qual sofreu recente processo de manejo do solo (aração e sulcagem) sem fluxo permanente de máquinas, área com pastagem (P) com produção de *Brachiaria decumbens*, de pasto remanescente, com fluxo pequeno e fixo de animais e área de mata nativa (N) livre de manejos agropecuários.

Dos 35 pontos avaliados, foram selecionados 33 pontos em cada área, devido a interferências no equipamento (GPS) em virtude de condições climáticas e da presença

da vegetação de médio porte, avaliando-se a pressão média em cada área e na área total, bem como a pressão média em quatro profundidades ao longo das camadas do perfil do solo: P1 = 0 – 10 cm; P2 = 10 – 20 cm; P3 = 20 – 30 cm; e P4 = 30 – 40 cm. Para diagnosticar a compactação usou-se um penetrômetro eletrônico, equipamento que mede em kilopascal (kPa) a resistência do solo à penetração.

4.4. Penetrômetro eletrônico

Avaliou-se a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) com medidor manual de compactação do solo Falker® PentrologPLG,1020 (Figura 1) com haste e cone tipo 2 com força máxima suportada de 100 kgf e com índice de cone máximo 7.700 kPa, configurado para tomar dados de resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) a cada 10 mm ou 1 cm de profundidade com programação para registrar todas as medições inclusive quando ocorre a reversão automática em caso de força excessiva (7.700 kPa), aferindo pontos georreferenciados na utilizando os perímetros obtidos com o GPS Garmin acoplado também ao aparelho demarcando estes pontos.

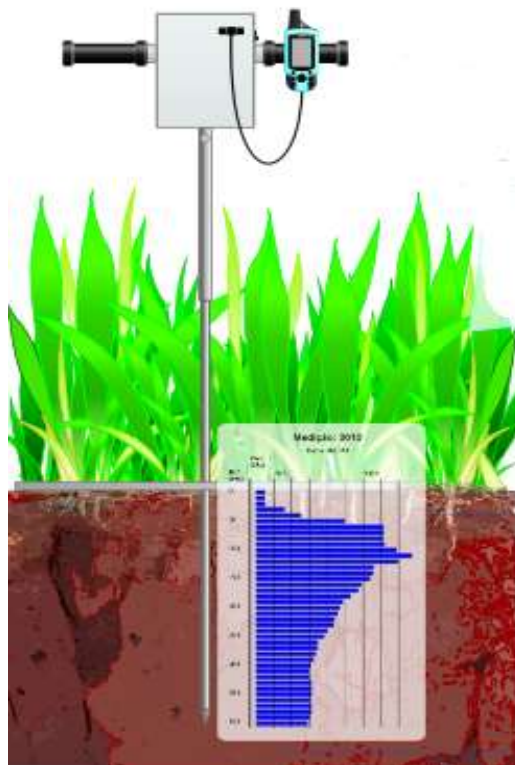


Figura 5.Penetrômetro eletrônico PLG 1020.

Ao penetrômetro foi acoplado GPS de navegação modelo Garmin GPS *map* 60CSx com *datum* WGS84 e sistema de coordenadas UTM para georeferenciamento

dos pontos e conectado na porta serial no módulo eletrônico. O protocolo de comunicação com o receptor GPS a ser utilizado é o NMEA 0183, com velocidade de 4.800 bps, 8 bits de dados, 1 stop bit, sem paridade.

4.5. Análise estatística

Os dados referentes à interação entre a resistência do solo em cada área e as profundidades foram organizados em parcelas subdivididas, sendo A x N e P x N. Os valores médios de pressão do solo foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo programa estatístico SAS. SAS/STAT 9.3 User's Guide (SAS Institute, 2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que não houve interação significativa no fator Local (diferentes áreas estudadas), mas houve interação significativa entre a profundidade nas áreas e entre as profundidades em cada área ($Pr > F < 0,01$).

Avaliando-se a resistência do solo a penetração em diferentes profundidades para as áreas: agrícola (A) e mata nativa (N), verificou-se que houve diferença estatística similar em ambas, sendo a menor pressão observada na profundidade inicial (0-10), ou seja, na superfície do solo (Tabela 2), com valores variando entre 257,48 e 298,75 kPa para mata nativa e área agrícola, respectivamente.

Tabela 2. Resistência à penetração do solo de duas áreas (Agrícola, Mata Nativa) em diferentes profundidades.

Profundidades	Pressão média (kPa)	
	Agrícola	Nativa
0-10	298,75 cA	257,48 cA
10-20	967,03 bB	1251,36 bA
20-30	1486,09 aB	1968,27 aA
30-40	1628,11 aB	2262,34 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aumento similar na pressão do solo em diferentes camadas de um Latossolo Amarelo foi evidenciado por Lima et al. (2013) avaliando a resistência mecânica a penetração (RPM) a medida em que essas camadas aumentavam a profundidade, neste contexto comparando-se a resistência do solo a penetração em cada profundidade, pode-se verificar na profundidade 0 – 10 cm que não houve diferença estatística entre a esta profundidade nas áreas (Figura 6). Isso mostra que na superfície do solo, independentemente da área, a resistência à penetração do solo se comporta da mesma forma.

Em relação às profundidades 10 – 20 cm, 20 – 30 cm e 30 – 40 cm verificou-se que a resistência do solo se comportou diferente, sendo maior para a área de mata nativa (Figura 6). Essa pressão elevada no solo, observada na área de mata, pode estar relacionada ao adensamento e enovelamento de raízes nessas profundidades. Costa et al. (2000) relataram que uma das forças que podem atuar na compactação do solo é o crescimento das raízes.

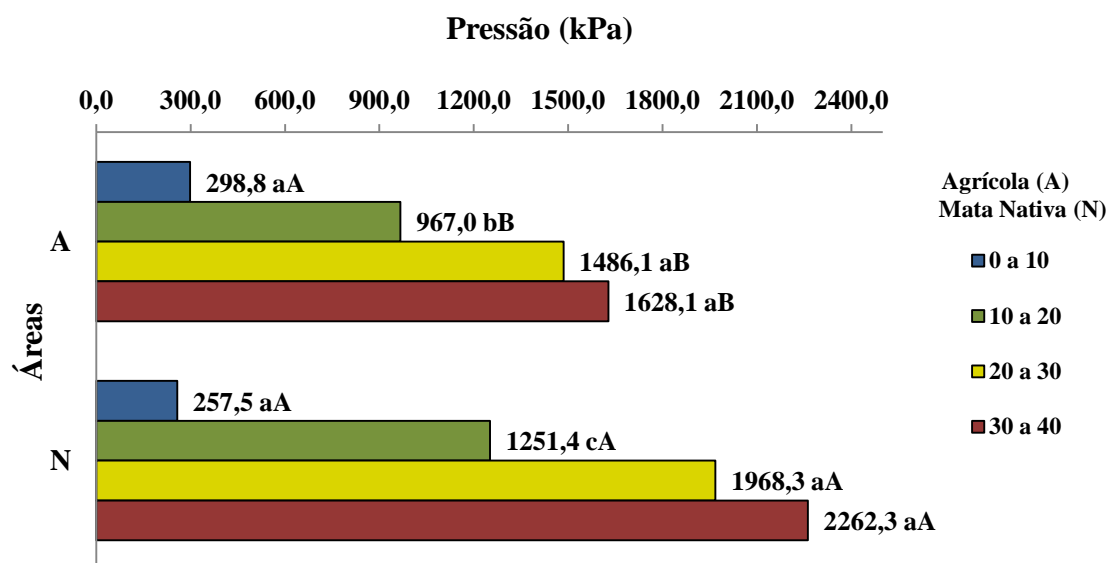


Figura 6. Análise comparativa da resistência do solo de uma área agrícola (A) com uma área de mata nativa (N) em diferentes profundidades, utilizando penetrômetro eletrônico. Areia, PB.

Carvalho et al., (2004) verificaram que a resistência mecânica (MPa) a penetração em solos sob Sistema Agroflorestral apresentou menor resistência a penetração, associando essa baixa resistência a incorporação de matéria orgânica enquanto, Araújo et al., (2004) evidenciaram que a resistência a penetração do solo em mata nativa foi menor em relação a área cultivada, sendo influenciada pela densidade do solo.

A Figura 7 apresenta o comportamento da resistência do solo à penetração ao longo do perfil no solo até 40 cm. Visualmente fica claro o comportamento da resistência à penetração das áreas mata nativa e área agrícola sendo que no solo de mata nativa apresenta-se inicialmente uma resistência menor nas primeiras profundidades e, na medida em que aumenta a profundidade de penetração, percebe-se aumento gradativo da resistência.

Contrariando o observado por Magalhães et al. (2009) comparando áreas de produção de cana-de-açúcar e de mata nativa. O referido trabalho associa essa maior resistência a penetração do solo nas partes finais do perfil a dificuldade observada no uso do equipamento, percebendo-se que havia empecilhos para a ação do mesmo, o que pode se relacionar ao adensamento de raízes e a massa do solo.

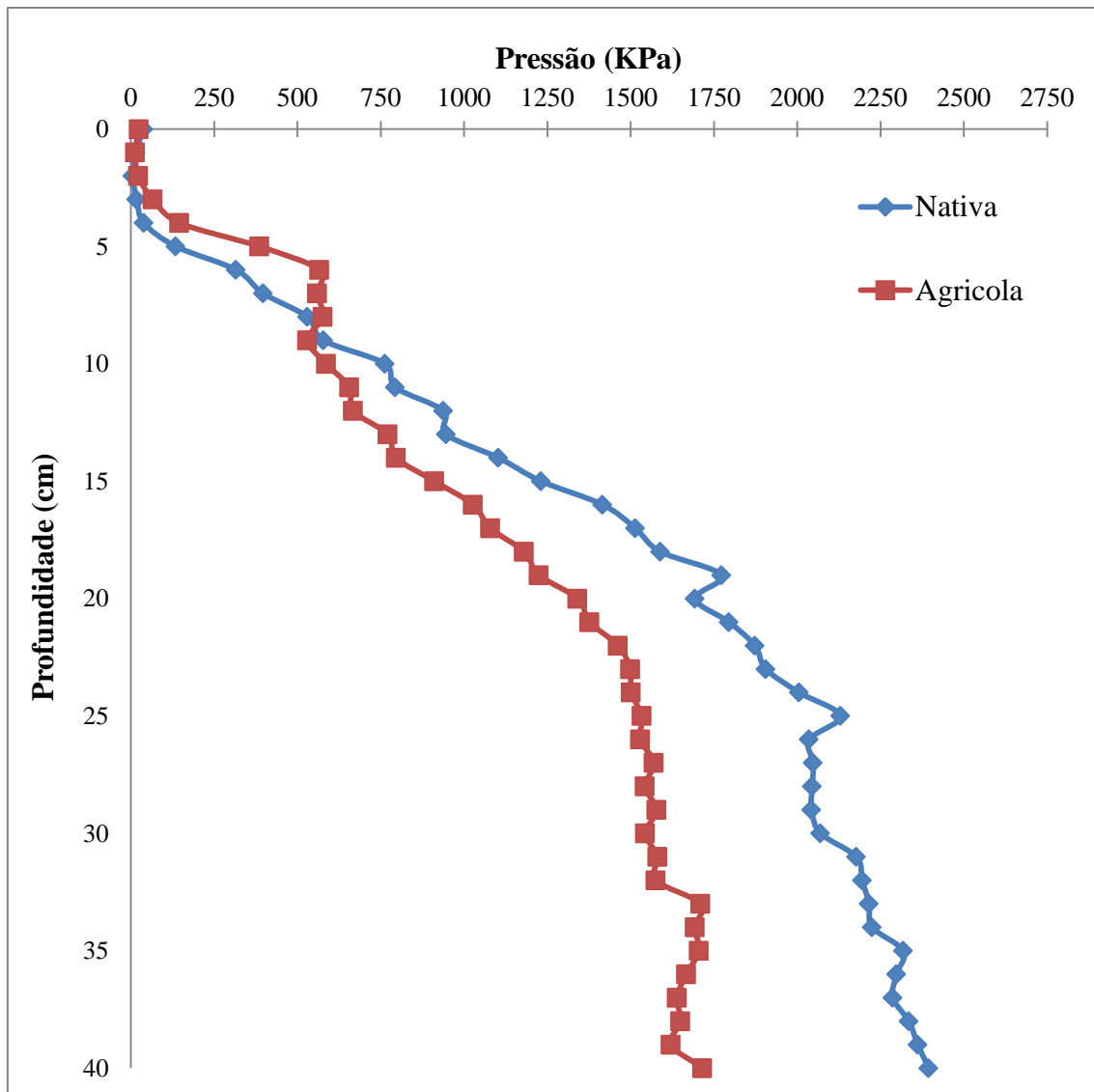


Figura 7. Pressão exercida e resistência mecânica a penetração no perfil do solo até 40 cm de área agrícola e nativa em Areia, PB.

Comparando-se o comportamento da resistência do solo em diferentes profundidades de uma área de pastagem e de uma área de mata nativa, verificou-se que a pressão (kPa) exercida foi similar a observada para área agrícola e para a área de mata nativa (Tabela 3). Segundo Young (1997), as árvores são responsáveis por diversos benefícios ao solo, protegendo-o do impacto das gotas de chuva, mantendo o teor de matéria orgânica e melhorando suas propriedades físicas. Nesse trabalho evidenciou-se que as árvores possivelmente propiciem uma pressão maior sobre áreas mais profundas do solo e influenciem na resistência do mesmo a penetração.

Tabela 3. Pressão exercida no solo de duas áreas; com pastagem e mata nativa. Areia-PB.

Profundidades	Pressão média (kPa)	
	Pastagem	Nativa
0-10	442,45 cA	257,48 cB
10-20	1385,47 bA	1251,36 bA
20-30	1681,95 aB	1968,27 aA
30-40	1776,94 aB	2262,34 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Avaliando-se a resistência mecânica a penetração no solo na profundidade de 0 – 10 cm em área de pastagem e em área de mata nativa, observou-se que a maior pressão exercida ocorreu em área de pastagem (442,5 kPa) (Figura 8).

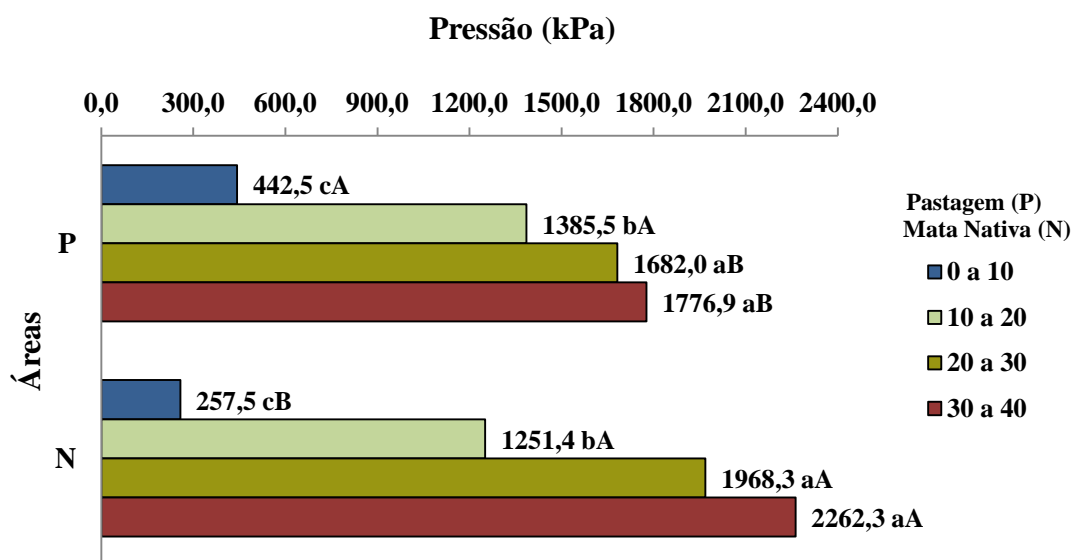


Figura 8. Análise comparativa da resistência do solo de uma área de pastagem (P) com uma área de mata nativa (N) em diferentes profundidades, utilizando penetrômetro eletrônico. Areia, PB.

A maior resistência mecânica na camada de menor profundidade no setor de pastagem pode ser decorrente do pisoteio animal, como enfatizado por Trein et al. (1991), que observaram que o pastejo intensivo de bovinos em uma pastagem de aveia preta e trevo causaram o aumento da resistência à penetração de 0,84 para 4,03 MPa, na camada de 0,0 a 0,07 m de profundidade. Sarmiento et al. (2003) afirmaram que o

pisoteio do animal sobre o solo potencializa-se quando o solo apresenta baixa cobertura vegetal.

Em profundidade de 10 – 20 cm do solo em área de mata nativa e em área de pastagem evidenciou-se que não houve diferença estatística na pressão exercida em qualquer uma das áreas. Porém, na medida em que a profundidade ultrapassava os 30 cm, verificou-se que a área de mata nativa mostrou maiores valores de pressão média, com 1968,3 kPa para a profundidade 20 – 30 cm e 2263,3 kPa para a profundidade 30 – 40 cm (Figura 8).

A resistência à penetração é dependente da umidade e densidade do solo e da distribuição do tamanho de partículas (Pabin et al., 1998). Santana et al. (2014) evidenciaram que os valores de resistência do solo a penetração mostraram-se significativamente maiores em área sob mata nativa em profundidades de 35 e 70 cm, em comparação com áreas de pastagem. Os autores ainda evidenciaram que a justificativa para a resistência pode ocorrer em virtude do crescimento das raízes que aproximam as partículas do solo.

O comportamento da resistência a pressão exercida ao longo do perfil do solo evidencia a maior resistência a penetração do solo na área de mata nativa, principalmente nas maiores profundidades (Figura 5). As forças que atuam no solo podem ser externas ou internas, como o crescimento de raízes grandes empurram as partículas do solo para forçar sua passagem podendo promover sua compactação (CAMARGO & ALLEONI) e a contração da massa do solo.

Esperava-se que a pastagem apresentasse maior resistência a penetração, no entanto deve-se levar em consideração o histórico da área. Neste setor existia a presença de animais em suporte de capacidade adequada.

O gráfico descreve o comportamento do perfil do solo da mata comparado com a área de pastagem, onde no comprimento de 40 cm é descrito, ponto a ponto evidenciando todos os segmentos e características dos solos na utilização do penetrômetro onde novamente fica claro as diferenças quanto a profundidades iniciais e finais, relacionadas em áreas de manejos distintos.

As áreas no presente gráfico (Figura 9) referentes ao estudo começam a demarcar relativas diferenças a partir do ponto de 20 cm nas camadas de solo. Entendesse que esta variação esta correlacionada ao fato da área de mata nativa existir elevado nível de matéria orgânica nas primeiras camadas do solo.

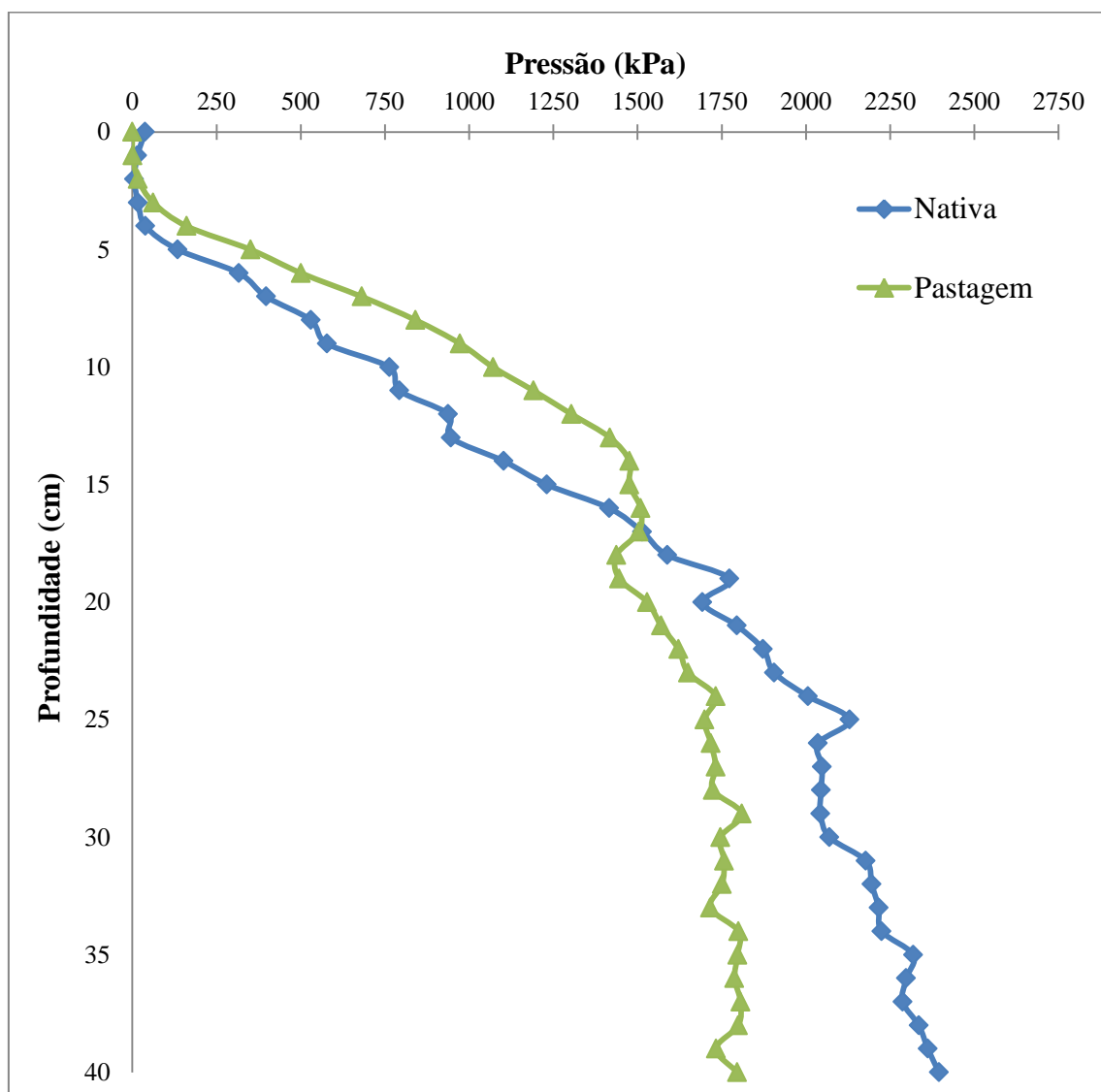


Figura 9. Resistência mecânica a pressão (kPa) no perfil do solo até 40 cm de área com pastagem e de mata nativa, em Areia-PB.

Segundo Assouline et al (1999), o teor de matéria orgânica tem influência na dinâmica da física do solo, causando influência direta na resposta do solo a compactação. Entretanto neste ponto de 20 cm a área de mata nativa exibe uma pressão maior que a área de pastagem. Este comportamento pode ser explicado por Novaes Filho et al. (2007) que descreve a matéria orgânica esta situada nas primeiras camadas de solo podendo atingir até 30 cm dependendo da textura do solo e da cobertura vegetal que existe no local.

Nas profundidades finais o gráfico caracteriza a uma discrepância quanto as pressões que existem nestas áreas. A área de mata nativa não só marca as maiores pressões na área agrícola como também estabelece médias superiores de pressão em relação ao setor de pastagem. Este fator pode estar correlacionado ao contato com raízes na mata, pois este local apresenta uma vegetação com árvores de médio porte capaz de causar dificuldades quanto as leituras na utilização do equipamento

Na avaliação geral a concepção adquirida em ambas as áreas fornece percepções que a mata nativa tem influência direta pela quantidade de matéria orgânica nas primeiras camadas de solo e neste contexto as camadas mais profundas que não exercem a mesma influência deste composto proporcionam níveis mais elevados de pressão, em relação a áreas com processos de manejos distintos passíveis de compactação.

6. CONCLUSÕES

- Na camada inicial entre 0 e 10 cm do solo na área de mata nativa proporcionou a menor média de pressão entre as três áreas estudadas.
- A área de mata nativa expôs a maior média de resistência a parti dos 15 cm em relação às outras duas áreas.
- O setor agrícola apresentou o menor nível de resistência levando em consideração todas as camadas entre as áreas ao longo do perfil do solo.

7. REFERÊNCIAS

- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 857-865, 2000.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, 2004.
- ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; FILHO, A. C. Avaliação da resistência do solo a penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.4, p.558-568, 2009.
- ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effects of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results modeling. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.61, p.390-398, 1997.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de Latossolos. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.146-151, 2007.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C. & PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 167-177, 2001.
- BIANCHINI, A.; MAIA, J. C. S.; MAGALHÃES, P. S. G.; CAPELLI, N.; UMEZU, C. K. Penetrógrafo eletrônico automático. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 332-336, 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Divisão de Agroecologia – SUDENE. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, MA/SUDENE. 670p. (Boletim Técnico, 15).

- CAMARGO, E. C. G. et al. Análise espacial de superfícies. In: DRUCK, S. et al. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2004. p. 79-122.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, Desgaspari, 1997. 132p.
- CARTER, L. M. Portable recording penetrometer measures soil strength profiles. **Agricultural Engineering**, v.48, p.348-349, 1967.
- CARVALHO, A. P. V.; DIAS, H. C. T.; PAIVA, H. N.; TONELLO, K. C. Resistência mecânica do solo a penetração na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1091-1098, 2012.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos de qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT 9.3 User's Guide**. SAS Institute Inc. CARY, N. C.2011, 8621p..
- CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 997-1003, 1999.
- COSTA, O. V. **Impacto animal sobre o componente abiótico do solo: Ciclagem de nutrientes e compactação**. Viçosa: UFV, 2000. 30p.
- EMBRAPA. **Ciclo virtuoso na agricultura de precisão**. Mercado e Negócios, Agroanalysis, 2014. Disponível em file:///C:/Users/Gilmar/Downloads/31362-59023-1-PB%20(1).pdf Acesso em: fevereiro de 2014.
- ENCICLOPÉDIA DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS. XVII volume, IBGE, Rio de Janeiro, 1960.
- ENCIDE, A. P. **Métodos não convencionais para avaliação da porosidade da densidade do solo de um latossolo vermelho**. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2005.

- FERREIRA, W. C. et al. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo d área degradada revegetada à margem do Rio Grande, Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Árvore**, Viçosa, v.31, n. 1, p. 177-185, 2007.
- FUENTES, R. L.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J. ; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos diferentes sistemas de preparo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.
- GAGGERO, M. R. **Alterações das propriedades físicas e mecânicas do solo sob sistemas de preparo e pastejo**. Porto Alegre, UFRGS, 1998, 124p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.
- GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Advances in Soil Sciences**, v. 6, p. 65-100, 1987.
- IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: Sistema IBGE de recuperação automática. Banco de dados agregados. Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 23 maio 2014.
- IORI, P.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SILVA, R. B. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 185-195, 2012.
- JOHANN, J. A.; OPAZO, M. A. U.; SOUZA, E. G.; ROCHA, J. V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 8, n. 2-3, pp. 212-219, 2004.
- KRIGE, D.G. 1951. **A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand**. MSc. Thesis. University of the Witwatersrand, Johannesburg, 1951.
- LAGO, W. N. M.; LACERDA, M. P. C.; NEUMANN, M. R. B. Indicadores de qualidade dos solos na microbacia do Ribeirão Extrema, Distrito Federal: parte II.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 721-729, 2012.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001.

LEAL, R. M.; BARBOSA, J. C.; COSTA, M. G.; BELASQUE JUNIOR, J.; YAMAMOTO, P. T.; DRAGONE, J. Distribuição espacial de *huanglongbing* (greening) em citros utilizando a geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 808-818, 2010.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 415-423, 2004.

LIMA, G. S. **Relação entre resistência mecânica do solo à penetração e textura do solo em área de colheita mecanizada de cana-de-açúcar no litoral paraibano**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba. 57f.

LIMA, R. P.; LÉON, M. J.; SILVA, A. R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo a penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 4, p. 577-581, 2013.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36, p. 1733-1744, 2012

MACEDO V. R. M.; SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S.V. Influência de tensões compressivas na pressão de pre-compactação e no índice de compressão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 856-862, 2010.

MAGALHÃES, W. A.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; SILVA, W. M. S.; CARVALHO, J. M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a

- penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 6, p. 21-32, 2009.
- MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JR, J. D. G.; SÁ, M. A. C., VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 873- 882, 2007.
- MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. S.; CARBORENA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 584-590, 2012.
- NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em Sistemas Agrossilvipastoril no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **ScientiaForestalis**, Piracicaba, v. 74, p. 45-53, 2007.
- NOVAES FILHO, J.P.; COUTO, E.G.; OLIVEIRA, V.A.D.; JOHNSON, M.S.; LEHMANN, J.; RIHA, S.J. 2007b. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 91-100
- OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 265-270, 2007.
- PABIN, J.; LIPIEC, J.; WLODEK, S.; BISKUPSKI, A. & KAUS, A. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. **Soil Till.Res**, v. 46, p. 203-208, 1998.
- PEREIRA, J. O., DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system, **European Journal of Soil Science**, n. 58, p. 34-44, 2007.
- PERUMPRAL, J.V. Cone penetrometer applications - a review. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.4, p.939-944, 1987

- PIGNATARO NETO, I. T.. Qualidade física e química de um Latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes períodos de usos. Brasília: Universidade de Brasília, 2008. 80 f. (Dissertação Mestrado).
- PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. .Atributos físicos e químicos de um Latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 33, p. 1441-1448, 2009.
- RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.
- RAMOS, F. T.; MONARI, Y. C.; NUNES, M. C. M.; CAMPOS, D. T. S.; RAMOS, D. T. Indicadores de qualidade em um latossolo vermelho-amarelo Sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 112-120, 2010.
- REIS, Jurandir Gondim. **Capacidade de uso das terras do nordeste**. 1ª aproximação, SUDENE, Recife, 1974.
- RESENDE SILVA, A.; DIAS JÚNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Avaliação da intensidade de tráfego e carga de um forwarder sobre a compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Árvore**, v. 35, p. 547-554.
- RESENDE SILVA, A.; DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Avaliação da intensidade de tráfego e carga de um forwarder sobre a compactação de um Latossolo Vermelho- Amarelo. **Revista Árvore**, v. 35, p. 547-554, 2011.
- RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1817-1825, 2008.
- RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um latossolo vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1817-1825, 2008.

- ROBOREDO, D.; MAIA, J. C. S.; OLIVEIRA, O. J. de; ROQUE, C. G. Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um latossolo vermelho distrófico. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.2, p.308-314, 2010.
- SANTANA, A. V.; FERREIRA, E. M.; GUIMARÃES, L. E.; CALIL, F. N.; TSAI, H. M. Resistência a penetração em solo sob sistema integração lavoura-pecuária-floresta, pasto convencional e mata nativa do cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2675-2680, 2014.
- SANTANA, A. V.; FERREIRA, E. M.; GUMARÃES, L. E.; CALIL, F. N.; TSAI, H. M. Resistência à penetração em solo sob sistema integração lavoura-pecuária-floresta, pasto convencional e mata nativa do cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2675-2680, 2014.
- SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A.F.C. **Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado**. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16. 1998, Montpellier. Montpellier: ISSS, 1998. CD-ROM.
- SANTOS, J.T.; ANDRADE, A.P.; SILVA, I.F.; SILVA, D.S.; SANTOS, E.M. & SILVA, A.P.G. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na microrregião do Brejo Paraibano. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2486-2492, 2010.
- SARMENTO, P.; RODRIGUES, L. R. de A.; CRUZ, M. C. P. da; LUGÃO, S. M. B.; CAMPOS, F. P. de; CENTURION, J. F.; FERREIRA, M. E. Atributos químicos e físicos de um Argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 183-193, 2008.
- SILVA, A. A. et al. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v.37, n.4, 2007.
- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004.
- SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo

Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 659-667, 2010.

SUDENE/DRN. **Plano de aproveitamento integrado dos recursos hídricos do nordeste do Brasil**. Vol. XV, Tomo 1 – Águas Subterrâneas, Recife, 1980.

SUZUKI, L. E. A. S; REICHERT, J. M; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1159-1167, 2007.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 333-339, 1996.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23).

TREIN, C. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 105-111, 1991.

VIEIRA, L. **Manual da Ciência do Solo**. São Paulo, Editora Agronômica, CERES, 1975.

YOUNG, A. *Agroforestry for soil management*. 2nd ed. Nairobi: CAB Internacional, 1997. 320p

WAGGER, M. G.; DENTON, H.P. Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. **Soil Sci. Soc. Am. Journal**, v. 53, p. 1206-1210, 1989.